

**КЛАРКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ТОНКОЗЕРНИСТЫХ
ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ УЧУРО-МАЙСКОГО РЕГИОНА И
ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА**

***А.В. Маслов¹, А.Д. Ножкин², В.Н. Подковыров³, Е.Ф. Летникова²,
Н.В. Дмитриева², Ю.Л. Ронкин¹***

¹*Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, Почтовый пер. 7, г. Екатеринбург, 620075,
e-mail: Maslov@igg.uran.ru*

²*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, просп. Академика В.А. Коптюга 3,
г. Новосибирск, 630090, e-mail: nozhkin@uiggm.nsc.ru*

³*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Макарова наб. 2, г. Санкт-Петербург, 199034,
e-mail: vpodk@mail.ru*

Поступила в редакцию 15 февраля 2010 г.

Рассмотрены кларки концентрации (K_k) широкого спектра элементов-примесей (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U) в тонкозернистых терригенных породах (аргиллиты, метапелиты) опорных разрезов рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. Установлено, что глинистые сланцы и аргиллиты учурской и аимчанской серий гипостратотипа рифея обладают умеренной ($2.5 < K_k < 5$) и интенсивной ($K_k > 5$) геохимической специализацией на Li, B и Zn. В то же время аналогичные образования лахандинской и уйской серий какой-либо явно выраженной геохимической специализации не имеют, хотя заметно обогащены ПЗЭ. Для метапелитов базальных свит седиментационных серий рифея Енисейского кряжа характерна выраженная и интенсивная специализация на B, слабая геохимическая специализация на Li, Rb, Be, Nb, Ta, Th, Ge, Cd. Кроме того, метапелиты кординской и лопатинской свит умеренно специализированы на Cu, потоскуйской – на Bi, Sb, Hg и V, лопатинской – на Hg и Cs. Метапелиты кординской свиты нижнего рифея центральной зоны Енисейского кряжа, по сравнению с метапелитами восточной приплатформенной зоны, геохимически специализированы на значительно большее число элементов (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, As, Rb, Y, Zr, Nb, Sb, Ag, In, Hf, Hg и др), а аргиллиты рудоносной (Pb, Zn) горевской свиты выделяются повышенными концентрациями целого ряда рудных элементов (Pb, Cd, As, Sb и Bi). Повышенные K_k редких литофильных и ряда рудных элементов в метапелитах Енисейского кряжа обусловлены высокой сиаличностью – геохимической дифференцированностью размывавшихся в рифее раннедокембрийских блоков западной окраины Сибирского кратона и синхронным с осадконакоплением проявлением рифтогенного и внутриплитного магматизма. Тонкозернистые и терригенные породы основания рифея Учуро-Майского региона, напротив, ближе по составу к незрелым субстратам позднего архея или их раннепротерозойским аналогам.

Ключевые слова: кларки концентрации, тонкозернистые терригенные породы, рифей, Учуро-Майский регион, Енисейский кряж.

ВВЕДЕНИЕ

По предложению В.И. Вернадского отношение содержания химического элемента в той или иной геохимической системе к его содержанию в земной коре названо кларком концентрации [37]. Использование кларков концентрации (K_k) позволяет наглядно представить как частные, так и общие геохимичес-

кие особенности, в том числе различных осадочных образований. Пользуясь этим инструментом, можно судить о “геохимическом облике” пород различных свит и серий, а также крупных осадочных последовательностей. Поскольку геохимические характеристики осадочных, в особенности тонкозернистых, пород в значительной мере отражают состав пород источ-

ников сноса и не изменяются в процессах литогенеза [56–58, 61, 62], то K_k глинистых отложений осадочных серий и более крупных осадочных последовательностей характеризуют геохимические черты и степень дифференцированности крупных литосферных блоков размывавшейся докембрийской коры кратонов или складчатых областей различной геодинамической природы. В этом отношении весьма актуальна мысль В.И. Вернадского [3], который еще в начале прошлого столетия писал, что морфологически однородные геологические области могут быть геохимически очень различными и одной из основных задач геохимии является выделение геохимических областей земной коры по содержанию химических элементов. Кроме сугубо научного интереса, изучение K_k элементов-примесей имеет и прикладное значение, поскольку служит выявлению всего баланса рудных элементов в земной коре и является составной частью металлогенического анализа.

Первый опыт исследований K_k элементов-примесей в осадочных мегапоследовательностях рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа представлен в монографии [20], где рассмотрены K_k переходных металлов, литофильных, высокозарядных и ряда других элементов-примесей (т.н. “короткий спектр” – Rb, Cs, Ba, Sr, Th, U, Sc, Cr, Co, Ni, V, Cu, Zn, Ga, Zr, Hf, Y, Nb, Mo, W, Pb, Bi, La, Ce, Sm, Eu, Gd, Yb и Lu) как в тонкозернистых терригенных породах различных свит, так и в мегапоследовательностях рифея в целом.

В настоящей работе рассмотрены K_k для более широкого спектра малых элементов (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U) в тонкозернистых терригенных породах (метапелитах, глинистых сланцах и аргиллитах)* осадочных мегапоследовательностей рифея Учуро-Майского региона (в пределах области распространения опорных разрезов гипостратотипа рифея [44]) и базальных свитах, начинающих крупные седиментационные серии рифея Енисейского кряжа.

*Выбор их в качестве объекта исследований обусловлен рядом обстоятельств, среди которых можно отметить: 1) тонкозернистые терригенные породы являются в большинстве случаев основой для подсчета баланса масс осадочных пород [46]; 2) эффективное перемешивание, свойственное осадочному процессу, приводит к тому, что эти образования часто представляют собой своеобразное отражение состава верхней континентальной коры на значительных территориях, в первую очередь в отношении редкоземельных элементов, тогда как состав песчаников и алевролитов контролируется преимущественно локальными источниками сноса.

В целях унификации приводимых ниже результатов с ранее полученными, нами приняты представления, изложенные в работе [9]. Согласно им, при величине K_k для какого-либо элемента от 1.5 до 2.5 породы считаются имеющими в отношении данного элемента слабую геохимическую специализацию. При $2.5 < K_k < 5.0$ специализация рассматривается как умеренная/выраженная, а при $K_k > 5.0$ – как интенсивная. Имеются и другие подходы к выявлению геохимической специфики пород различных комплексов и провинций [42]. Основываясь на величине отношения $K_{k \max} / K_{k \min}$, мы попытались оценить также степень неравномерности (Н) распределения K_k у имеющихся у нас выборок.

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕГАПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РИФЕЯ УЧУРО- МАЙСКОГО РЕГИОНА И ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

В *Учуро-Майском регионе*, объединяющем Учуро-Майскую плиту и Юдомо-Майский прогиб, на юго-востоке Якутии и в Хабаровском крае (рис. 1) к рифею традиционно относятся учурская, айчанская, керпыльская, лахандинская и уйская серии [44, 54]. Учурская серия, по данным М.А. Семихатова и С.Н. Серебрякова [44], объединяет в Учурской впадине гонамскую, омахтинскую и эннинскую свиты, а в пределах Юдомо-Майского прогиба – трехгорную и димскую свиты. Гонамская свита (мощность до 600 м) сложена преимущественно кварц-полевошпатовыми песчаниками, гравелитами и алевролитами с маломощными прослоями доломитов. Омахтинская свита (200–300 м) представлена пакетами ритмичного чередования песчаников, алевролитов, аргиллитов и доломитов [2]. Эннинская свита (180–300 м) объединяет кварцевые и полевошпато-кварцевые массивные или косослоистые песчаники, часто содержащие «примазки» глинистого материала, а также пачки ритмичного чередования пестроцветных песчаников и песчаных, микрофитолитовых или строматолитовых доломитов. Трехгорная свита (мощность ~1200 м) представлена песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами с прослоями доломитов и известняков, в том числе строматолитовых и онколитовых. Димская свита (1800–2000 м) состоит из глинистых сланцев, алевролитов и песчаников с подчиненными им прослоями и пачками доломитов.

В последние годы установлено, что в Улканском районе между раннепротерозойскими образованиями и гонамской свитой учурской серии залегает 400–1100-метровая вулканогенно-осадочная последовательность уянской серии, включающей бириндинскую, конкулинскую и адаргайскую свиты [9, 11, 12,

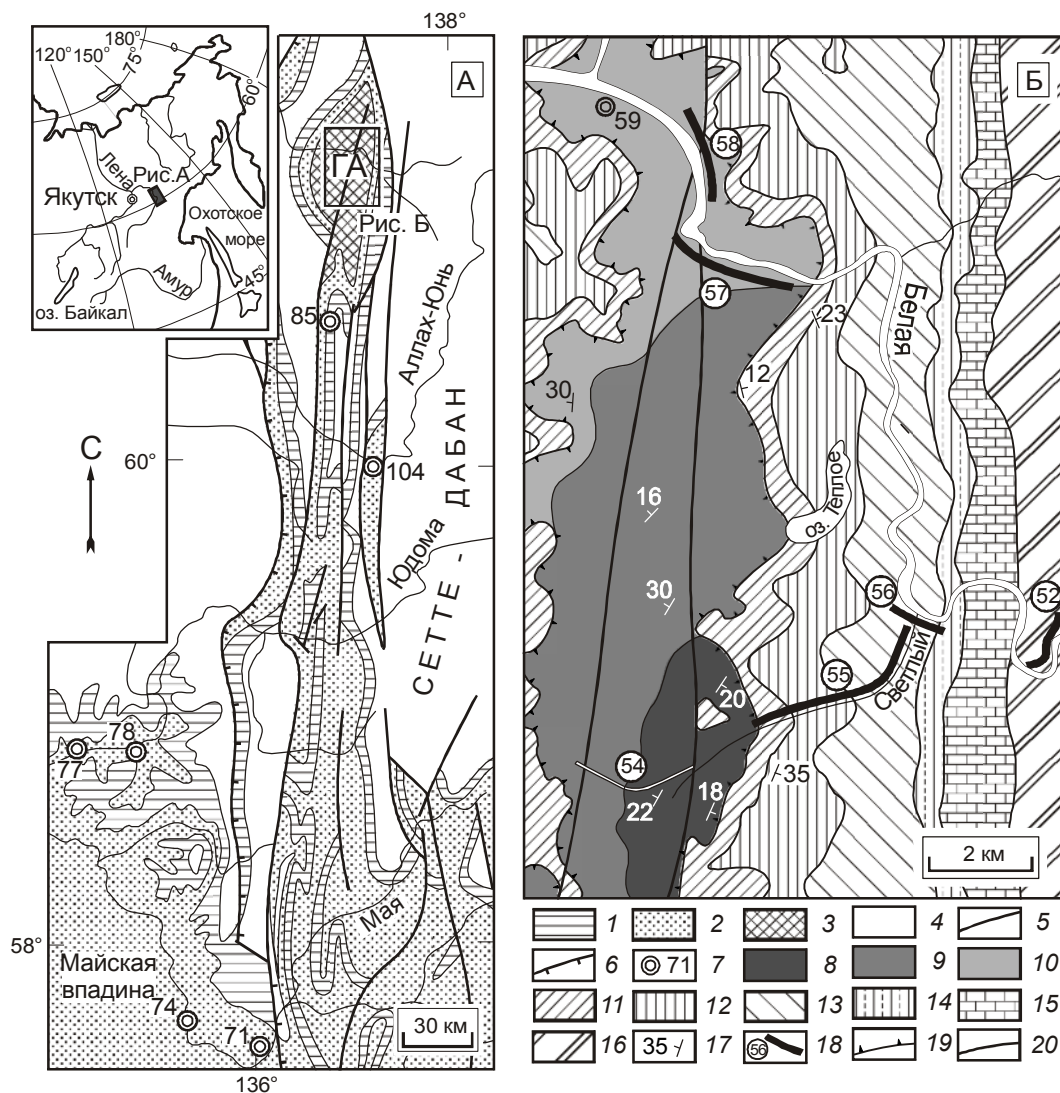


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Учуро-Майского региона и положение изученных разрезов.

А – распространение рифейских и вендских отложений в Учуро-Майском регионе: 1 – венд; 2 – средний и верхний рифей; 3 – нижний рифей; 4 – фанерозой; 5 – основные разломы; 6 – Нельканский краевой шов Сибирской платформы; 7 – расположение разрезов и их номера. Б – схема геологического строения Горностаховского антиклинория: 8–10 – нижний рифей, свиты: 8 – пионерская, 9 – трехгорная, 10 – димская; 11–15 – средний рифей, свиты: 11 – талынская, 12 – светлинская, 13 – тотгинская, 14 – малгинская, 15 – ципандинская; 16 – верхний рифей, лахандинская серия; 17 – элементы залегания; 18 – расположение разрезов и их номера; 19 – несогласное залегание; 20 – разломы.

14]. Бириндинская свита (мощность до 450–500 м) объединяет конгломераты, фиолетовые, розовато-серые полевошпато-кварцевые и аркозовые песчаники, гравелиты, оливиновые базальты и лейкобазальты, алевролиты и туфоалевролиты. Конкулинская свита (максимальная мощность ~950 м) представлена преимущественно красноцветными полевошпато-кварцевыми и аркозовыми песчаниками, гравелитами, алевролитами и аргиллитами. Адаргайская свита сложена сероцветными алевролитами и алевропесчаниками с прослоями доломитов. Мощность ее варьирует от 110 до 180 м [12, 14].

Аимчанская серия включает талынскую и светлинскую свиты. Талынская свита (750–1200 м) объединяет пакеты и пачки неравномерного переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Светлинская свита (500–1100 м) сложена преимущественно доломитами, в том числе и строматолитовыми; подчиненную роль в ее разрезах играют низкоуглеродистые алевролиты и глинистые сланцы.

Керпыльская серия объединяет тотгинскую, малгинскую и ципандинскую свиты. Тотгинская свита (600–900 м) представлена глауконито-кварцевыми алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами.

Малгинская свита (300–470 м) сложена в основном известняками, среди которых наблюдаются как строматолитовые, так и битуминозные разновидности. В разрезах цыпандинской свиты (300–500 м) преобладают доломиты, в том числе битуминозные.

Лахандинская серия включает две свиты – неруенскую и игниканскую. Первая сложена аргиллитами, известняками и доломитами, мощность ее достигает 650–700 м. В разрезах игниканской свиты (300–330 м) преобладают строматолитовые известняки и доломиты.

Завершает разрез рифея в Учуро-Майском регионе уйская серия, в состав которой входят кандыкская и усть-кирбинская свиты. Кандыкская свита (900–2000 м) представлена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В разрезах усть-кирбинской свиты (500–3500 м) также преобладают терригенные породы.

По представлениям [38, 44], учурская серия имеет раннерифейский возраст, айчанская и керпыльская серии принадлежат среднему рифею, а лахандинская и уйская – позднему*, однако в литературе существуют и иные точки зрения [51, 52, 54].

Терригенные и карбонатно-терригенные последовательности раннего и среднего рифея Учуро-Майского региона сформировались в эпикратонных бассейнах, при резком преобладании мелководных и сверхмелководных обстановок [38, 44, 60]. В самом начале позднего рифея на рассматриваемой территории был сформирован глубокоководный рифтогенный прогиб, развитие которого завершилось около 940–950 млн лет назад [38, 40, 60]. Областями размыва на протяжении всего рифея выступали как западные по отношению к Учуро-Майскому региону районы (собственно Сибирский кратон), так и гипотетический восточный блок [53]. Локальное распространение в осадочных последовательностях учурской, айчанской и керпыльской серий имеют магматические комплексы основного состава, фиксирующие несколько импульсов рифтогенеза, проявившихся около 1.50, 1.38 и 1.32 млрд лет назад [39, 53]. Параллельно с накоплением терригенных толщ уйской серии происходило становление мощных силлов и покровов диабазов [53, 63].

На юго-западе Сибирской платформы в пределах *Енисейского кряжа* (рис. 2) рифейские отложения наиболее широко представлены в Заангарье (сухопитская, тунгусикская, верхневороговская, чинга-

санская и другие серии), где их мощность составляет около 10–13 км [7, 17, 43, 48, 54].

Сухопитская серия объединяет (снизу вверх) кординскую, горбилокскую, удерейскую, погорюйскую и сосновскую свиты. В публикациях последних лет [17, 36, 50] кординская свита считается нижнерифейской, тогда как более высокие подразделения сухопитской серии рассматриваются как среднерифейские образования. Сложена кординская свита преимущественно филлитизированными биотитсодержащими сланцами; подчиненную роль в разрезах свиты играют кварциты, кристаллические известняки, метавулканыты, гравелиты и конгломераты, развитые в нижней части. Мощность свиты оценивается в 1300–1600 м. Горбилокская свита (500–1000 м) представлена зелеными сланцами с магнетитом, включающими горизонты метатупфов основного состава. Удерейская свита (800–1500 м) объединяет филлитизированные глинистые сланцы, подчиненную роль в ее разрезах играют прослои алевролитов, песчаников и линзы известняков. Погорюйская свита (600–1500 м) сложена кварцитовидными песчаниками и алевролитами; глинистые сланцы в разрезах данного подразделения имеют подчиненное значение. Завершающая разрез серии сосновская свита (250–600 м) представлена известняками, доломитами, песчаниками, глинистыми сланцами и туфогенными породами.

Тунгусикская, верхневороговская и чингасанская серии принадлежат верхнему рифею [17, 36]. Тунгусикская серия в центральной зоне Енисейского кряжа объединяет потоскуйскую, шунтарскую и свиту Серого ключа. Первая из них включает глинистые сланцы, алевролиты и песчаники (800–1800 м). Шунтарская свита сложена углеродистыми глинистыми сланцами, алевролитами и глинистыми известняками. Мощность ее варьирует от 500 до 1000 м. Свита Серого ключа (до 500 м) представлена известняками, в том числе строматолитовыми, известково-глинистыми сланцами и алевросланцами.

Верхневороговская серия включает ковригинскую, оленьинскую (конкинскую, степановскую) и водораздельнинскую свиты. В состав ковригинской свиты (400–700 м) входят песчаники, гравелиты, конгломераты, алевросланцы, кислые и основные метавулканыты. Оленьинская свита (250–400 м) представлена песчаниками, конгломератами и туфогенными пестроцветными алевросланцами. Водораздельнинская свита (1200–1450 м) сложена глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками, а также зеленокаменно измененными базальтами, лейкобазальтами и андезибазальтами.

*Сводку современных представлений об изотопном возрасте перечисленных в данном разделе литостратиграфических подразделений можно найти в работах [20, 21, 35].

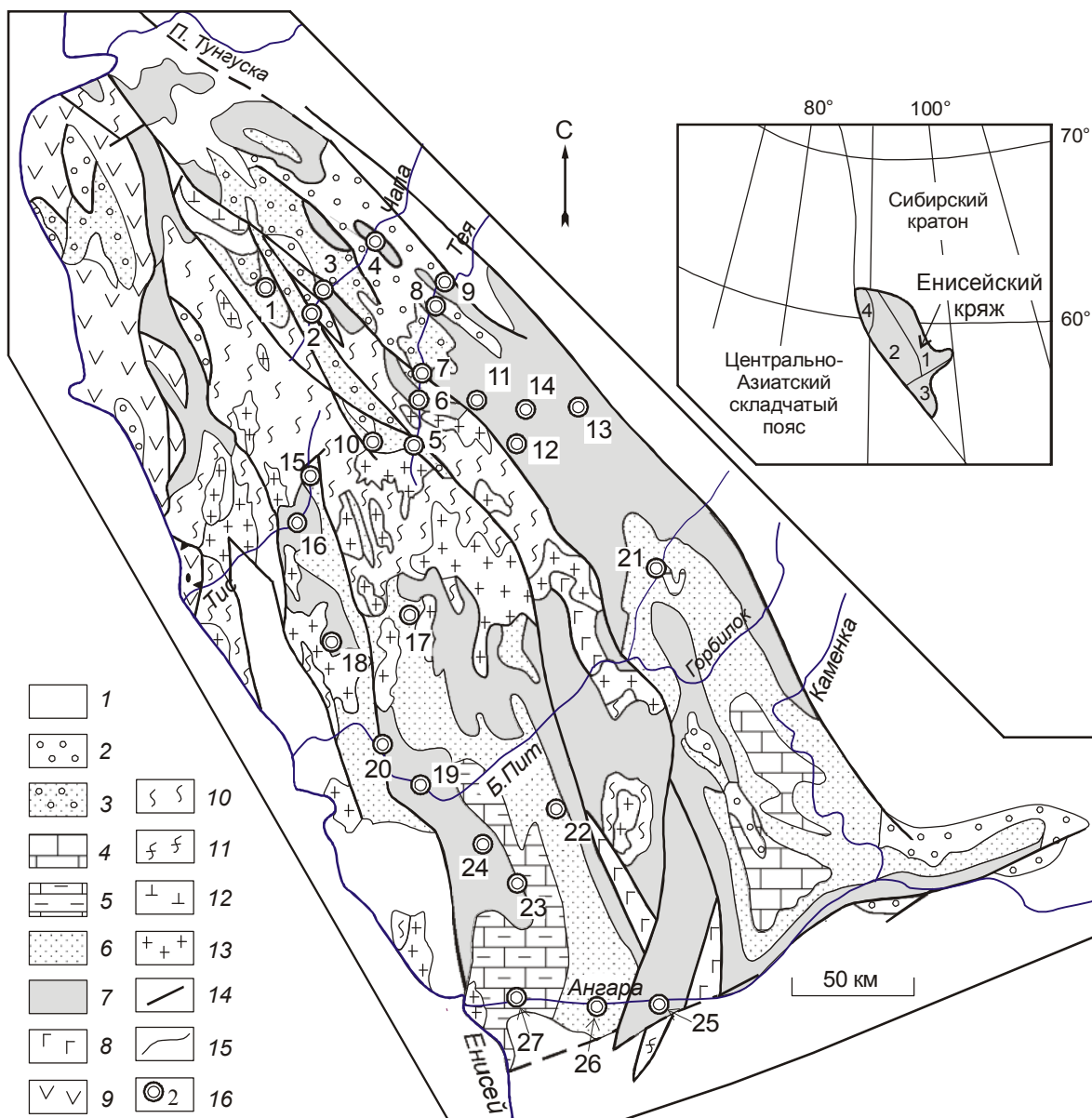


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Енисейского кряжа и положение изученных разрезов.

1 – чехол (PZ–MZ); 2–6 – позднекембрийские окраинно-континентальные отложения: 2 – моласса (чапская, тасеевская серии, R₃–V); 3 – терригенные и терригенно-карбонатные отложения авлакогенов, в зонах рифтогенеза вулканиты трахибазальтовой ассоциации (чингасанская серия, R₃); 4–5 – преимущественно карбонатные отложения шельфа (4 – осянская серия, 5 – горевская свита, R₃); 6 – слабо метаморфизованные (до хлоритовой зоны зеленосланцевой фации) терригенные и карбонатно-терригенные отложения наложенных прогибов, в зонах рифтогенеза центральной зоны Енисейского кряжа продукты бимодального и пикрит-базальтового вулканизма (широкинская, верхневороговская (каитьбинская), тунгусикская серии, R₃); 7 – филлитизированные глинистые сланцы, филлиты, метапесчаники (сухопитская серия, R₁₋₂); 8 – амфиболиты (метабазиты), метапикробазальты, плагиориолиты и их туфы Рыбинско-Панимбинской зоны рифтогенеза (R); 9 – офиолиты и островодужные комплексы аккреционного пояса (R₂?–R₃); 10–11 – раннекембрийские метаморфические образования кристаллического основания: 10 – мраморы, кварциты, кристаллические сланцы и гнейсы, в том числе высокоглиноземистые, амфиболиты (метабазиты) (тейская серия, абалаковская толща, PR₁); 11 – амфиболито-гнейсовый комплекс (енисейская серия, PR₁); 12 – траппы (P–T); 13 – позднепротерозойские (R₃) гранитоиды; 14–15 – геологические границы: 14 – тектонические, 15 – прочие; 16 – расположение изученных разрезов и их номера.

Блоки на врезке: 1 – Восточный (Приплатформенный), 2 – Центральный, 3 – Ангаро-Канский (Южно-Енисейский кряж), 4 – Исаковский.

На севере Енисейского кряжа выше верхневороговской серии залегают породы чингасанской серии, объединяющей лопатинскую, карьерную и чивидинскую свиты. Лопатинская свита (до 1500 м) сложена пестроцветными конгломератами, песчаниками, гравелитами, алевролитами и аргиллитами; подчиненную роль в ее разрезах играют доломиты. Карьерная свита (до 800 м) представлена кварцитовидными песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинистыми известняками. Чивидинская свита (400–700 м) объединяет песчаники, алевролиты, аргиллиты, тиллитовидные породы (микститы), доломиты, трахибазальты, трахиандезиобазальты, трахиты и их туфы.

В южной части Заангарья с чингасанской серией условно коррелируются отложения ширококинской серии, развитые в междуречье Бол. Пит–Ангара [17]. В составе серии выделяются две свиты – горевская и сухохребтинская. Горевская свита (600–700 м) представлена глинистыми, доломитистыми и углеродистыми известняками, среди которых в нижней части присутствуют прослойки углеродистых карбонатно-глинистых сланцев и колчеданно-полиметаллическое оруденение. В основании свиты среди известняков встречаются линзы песчаников, туфы и лавы основного состава, гравелиты и конгломераты. Горевская свита коррелируется с карьерной и чивидинской свитами чингасанской серии [17] и прорвана лейкогранитами Стрелковского массива, имеющими U-Pb возраст по циркону 717 ± 9 млн лет [6]. Перекрывающая ее сухохребтинская свита (500–700 м) сложена кварцитовидными олигомиктовыми песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, лавами и туфами базальтов, трахибазальтов и трахиандезитов.

Рифейская мегапоследовательность Енисейского кряжа представлена преимущественно приплатформенными и перикратонными отложениями. Для западных разрезов кряжа установлено присутствие офиолитов и известково-щелочных вулканитов [22], маркирующих существовавшие здесь, вероятно, задуговый бассейн (конец среднего–начало позднего рифея) [36] и энсиалическую вулканическую дугу или активную континентальную окраину (вторая половина позднего рифея, ~700 млн лет назад) [4, 5, 25]. Центральная часть кряжа отличается преобладанием разнообразных в фациальном отношении карбонатно-терригенных отложений и локальным развитием вулканитов. Последние отсутствуют в восточной зоне кряжа, являвшейся на протяжении всего рифея пассивной окраиной Сибирского кратона. После рубежа 880–870 млн лет назад на территории кряжа был сформирован ряд рифтогенных прогибов [28, 30,

32]. Более ранние из них развиты в Центральном блоке Заангарья и выполнены вулканогенно-осадочными комплексами верхневороговской (каитьбинской, глушихинской) серии. Прогибы второй половины позднего рифея сложены субаэральными грубообломочными пестроцветными и морскими терригенно-карбонатными флишеидными отложениями. Осадочное выполнение этих прогибов (чингасанская, вороговская, ослянская и ширококинская серии) имеет в пределах кряжа более широкое распространение. Снос кластики в рифее происходил преимущественно с Сибирского кратона, однако существовали и внутрибассейновые источники обломочного (в том числе вулканогенного) ювенильного базитового материала.

В целом, позднедокембрийская история развития рассматриваемой территории подразделяется на ряд стадий [25, 36, 41, 49]. На инициальной рифтогенной стадии преобладали пологие депрессии с терригенной и карбонатно-терригенной седиментацией. Следующая стадия характеризовалась деструкцией шельфовых зон, интенсивным растяжением коры и, очевидно, формированием рифтогенных пикробазальт-базальтовых ассоциаций Рыбинско-Панимбинского вулканического пояса, накоплением гемипелагических осадков с прослоями дистальных турбидитов. Конец ее совпадает с интенсивной проградацией в бассейн мелководных шельфовых отложений (погорьское время). Для интервала 1.0–0.86 млрд лет характерно существование латерального ряда обстановок – от карбонатных платформ на востоке к бассейновым на западе; в последних в локальных зонах растяжения, вероятно, существовали вулканические постройки. В дальнейшем (0.86–0.6 млрд лет) формировался складчато-надвиговый ороген с поднятием территории, размывом ранее накопившихся толщ и многократными (0.8, 0.75, 0.7 и 0.65 млрд лет) импульсами рифтогенного и внутриплитного магматизма. Основными типами седиментационных бассейнов на данной стадии являлись рифтогенные и форландовые прогибы [30–33, 45], в которых формировались существенно терригенные отложения рыбинской, верхневороговской, чингасанской и чапской серий.

В терригенно-карбонатных и углеродистых черносланцевых толщах рифея Енисейского кряжа локализованы многочисленные месторождения и проявления Pb, Zn, Mn, Fe, Au и U: Горевское (Pb и Zn), Порожнинское (Mn), Нижне-Ангарское, Исаковское и др. (Fe), Советское, Эльдорадо, Васильевское, Олимпиадинское, Ведугинское и др. (Au), Удереиское, Раздольнинское (Sb), Кедровое, Оле-

ные, Тейское (U) и ряд других. Предполагается, что их формирование связано как со стадией седиментогенеза, так и с последующими лито- и эпигенетическими преобразованиями вмещающих пород [7, 13, 24, 26, 29, 47, 55]. В то же время, данные о региональных кларках и K_k названных и других элементов-примесей в различных литостратиграфических подразделениях рифея Енисейского кряжа, за исключением радиоактивных элементов и Au [16, 22–24, 27], в литературе отсутствуют или фрагментарно освещены на основе приближенно-количественного спектрального анализа.

ОБРАЗЦЫ И АНАЛИТИКА

Среди исследованных нами выборок тонкозернистых терригенных образований преобладают кварц-гидрослюдистые и хлорит-гидрослюдистые глинистые сланцы и алевроаргиллиты с той или иной долей каолинита и смешанослойных образований. Количество зерен кварца и полевых шпатов алевроитовой размерности не превышает в них, как правило, 5–15 %. В разрезах кординской свиты нижнего рифея Енисейского кряжа исходно глинистые породы представлены преимущественно филлитизированными биотитсодержащими сланцами, а в составе горбиллоксской свиты значительная роль принадлежит зеленым (серицит-хлоритовым) сланцам.

Принятая методика полевых работ и сбора первичного материала включала изучение геологических разрезов, площадное картирование отдельных ключевых объектов, сопровождавшееся массовым геохимическим опробованием. Во всех пробах тонкозернистых терригенных пород, отобранных в Енисейском кряже, гамма-спектрометрическим методом определены Th, K и U (по Ra). Из однородных по радиогеохимическим и петрографическим признакам выборок отбирались пробы для определения в них петрогенных и редких элементов. В данном случае для геохимического изучения выбраны образцы тонкозернистых обломочных образований, состав которых в координатах $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ и $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ [59] соответствует преимущественно глинистым сланцам и в редких случаях ваккам.

Определение содержаний элементов-примесей во всех использованных при проведении данных исследований образцах выполнено в ИГГ УрО РАН (аналитики О.П. Лепихина, О.Ю. Попова и Г.А. Лепихина) методом ICP-MS на базе тандемного масс-спектрометра высокого разрешения HR ICP-MS ELEMENT2. Пределы обнаружения редких, редкоземельных и высокозарядных элементов составляют от 0.005 до 0.1 г/т. Точность анализа составляла в сред-

нем 2–7 отн. %. Подготовка образцов соответствовала методике, описанной в работах [18, 19]. Степень постседиментационных преобразований проанализированных пород соответствует в основном глубинному/позднему катагенезу, а местами – метакатагенезу [1, 38]. Исключения представляют тонкозернистые породы кординской свиты, отвечающие метаморфизму хлорит-биотитовой зоны зеленосланцевой фации. Метаморфизм вышележащих свит сухопитской и тунгусикской серий не выше хлоритовой зоны. Отложения чингасанской, ширококинской, верхневороговской серий по существу не метаморфизованы или изменены в условиях пренит-пумпеллитовой фации [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предыдущими исследованиями, проведенными в Улканском районе [9, 12], установлено, что для конгломератов и песчаников базальных уровней бириндинской свиты улканской серии Улканского района Учуро-Майского региона характерны близкие к промышленным концентрации Au, Mo и U. Однако в целом терригенным породам бириндинской свиты (главным образом песчаникам различного петрографического состава), по данным В.А. Гурьянова [12], присущи низкие содержания большинства элементов-примесей. Только La имеет $K_k \sim 3.0$. В то же время, к метасоматически измененным породам этого уровня уянской серии в зонах тектонических нарушений и конгломератам базальных горизонтов приурочены проявления Au, U и ряда редких металлов. Породы конкулинской свиты геохимически специализированы на As и Be; но песчаники конкулинской свиты, как и породы бириндинского уровня, имеют достаточно низкие содержания большинства элементов-примесей. Для пород адаргайской свиты свойственны интенсивная специализация на As, выраженная специализация на Ag, Ba, Nb, Mo, Sr и слабая геохимическая специализация на Sc, Zr, Pb, V, Y и Co [9, 12].

Глинистые сланцы гонамской свиты умеренно специализированы на As и Co, а также слабо специализированы на La, Ba, Be, V, Sr и Y [9]. Залегающие выше отложения омахтинской свиты интенсивно геохимически специализированы на Co и La. Кларки концентрации Ba, Mn, Mo и Cu варьируют в них от 2.50 до 5.00, а для Ga, Sc, Ag, Yb, V и Sr находятся в пределах 1.50–2.50. Породы эннинского уровня интенсивно специализированы на Mo, выраженно специализированы на La, а K_k As, Co, Yb и Zn варьируют от 1.50 до 2.50 [9].

Подавляющее большинство характерных для Улканского района месторождений и проявлений U, V, Au, Pb, Mo, Ba и ряда других элементов-примесей

эпигенетичны по отношению к вмещающим породам [8–12]. Предполагается, что источником рудных концентраций в них могли быть повышенные против кларка, в значительной степени сингенетичные содержания редких элементов в осадочных породах. Свойственные же не измененным при более поздних активизационных эпигенетических процессах осадочным образованиям нижнерифейского и более высоких стратиграфических уровней рифея Учуро-Майского региона содержания названных и других элементов-примесей до настоящего времени, по сути дела, остаются неизвестными.

Выполненное нами нормирование содержаний элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах различных литостратиграфических подразделений рифея *Учуро-Майского региона* на их содержания в верхней континентальной коре (УСС) (по [64]) позволило наметить следующие присущие им особенности.

Глинистые сланцы трехгорной свиты, исходя из медианных значений K_k , характеризуются околосларковым распределением подавляющего большинства элементов-примесей (табл. 1). Однако они интенсивно специализированы на бор ($K_{k \text{ медиана}} = 8.76$), умеренно специализированы на Li ($K_{k \text{ медиана}} = 3.43$) и слабо специализированы на Rb ($K_{k \text{ медиана}} = 1.95$) и Cr ($K_k = 1.64$). Если же рассматривать максимальные значения K_k , то у подавляющей части элементов их значения не превосходят 2.50 (рис. 3а); исключение составляют Li, В и Rb ($K_{k \text{ max}}$ соответственно, 5.57, 21.63 и 3.59).

Мы попытались, основываясь на величине отношения $K_{k \text{ max}}/K_{k \text{ min}}$, оценить также степень неравномерности (Н) распределения K_k в имеющихся у нас выборках. В результате оказалось, что для тонкозернистых терригенных пород трехгорной свиты величина параметра Н составляет выше 5 для В, Мо, Ва, Sm, Tb, Dy и Th и варьирует в интервале $3 < Н < 5$ для Cu, Rb, Sr, Y, La, Ce, Eu, Gd, Ho, Er, Pb и U.

Для тонкозернистых пород димской свиты значения $K_{k \text{ медиана}}$ для Ga, Bi, Li и В составляют, соответственно, 1.97, 2.46, 5.76 и 10.72; для остальных элементов значения $K_{k \text{ медиана}}$ не превышают 1.50. Список же элементов, для которых максимальные величины $K_k > 1.50$, существенно шире – Sc, V, Cr, Ni, Cu, Rb, Nb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd и Bi (рис. 3б). Величина Н для Cu, Мо, Ва, Eu и Bi превышает 5, а для В, Sr, Y, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Pb и Th она варьирует от 3 до 5.

Геохимический облик тонкозернистых обломочных пород талынского уровня несколько иной, нежели свойственно аналогичным по гранулометрическому составу породам трехгорной и димской свит. Во-

первых, максимальные содержания большинства редкоземельных элементов (РЗЭ) во многих образцах здесь достигают величины $1.50 \times \text{УСС}$, а в отдельных из них превышают 2.50 (рис. 3в). Для Gd медианная величина K_k составляет 1.51. Во-вторых, содержания Bi имеют существенно больший, чем на трехгорном и димском уровнях, разброс, причем максимальная концентрация данного элемента в одном из восьми образцов равна $5.82 \times \text{УСС}$. В-третьих, медианное значение K_k для Zn составляет в глинистых сланцах данного уровня 3.95 (умеренная геохимическая специализация), тогда как для тонкозернистых терригенных пород учурской серии и минимальные, и максимальные концентрации этого элемента, по нашим данным, ниже, чем в УСС. Таким образом, тонкозернистые терригенные образования талынской свиты Учуро-Майского региона слабо геохимически специализированы на Cr, Rb, Nb, Gd и Bi, умеренно специализированы на Li и Zn и интенсивно специализированы на В. Такие элементы, как В, Sc, Cu, Zn, Rb, Y, Мо, Ва, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Pb, Bi и Th, обладают значительной неравномерностью распределения величин K_k ($Н > 5$). Несколько меньше параметр Н для Co, Zr, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Hf и U. Различие максимальных и минимальных значений K_k для остальных элементов составляет менее 3.

Тонкозернистые обломочные породы светлинской свиты по медианным значениям K_k могут рассматриваться как геохимически выражено специализированные только на Li и Zn (соответственно, 3.68 и 4.88), для остальных компонентов величины $K_{k \text{ медиана}}$ не превышают 1.50. От описанных выше литостратиграфических подразделений рифея Учуро-Майского региона они отличаются также сравнительно небольшими содержаниями всех РЗЭ (из них только в одном из пяти проанализированных нами образцов величина $K_{k \text{ max}}$ для Ce составляет 2.08) (рис. 4а). Напротив, Cr, Co и Ni присутствуют здесь в несколько больших концентрациях, что в определенной мере сближает светлинский уровень с талынским. В трех из пяти исследованных нами образцов K_k Zn составляет от 4.73 до 4.88, тогда как в двух других несколько превышает 5.00. Медианное значение K_k для Zn составляет 4.88. Это также подчеркивает сходство тонкозернистых обломочных пород светлинской и талынской свит. Значительной неравномерностью распределения параметра Н характеризуются Cu, Sr и Мо. Для Li и Cs значения Н составляют, соответственно, 3.94 и 3.04, тогда как для остальных компонентов величина Н не превышает 3. Минимальной неравномерностью распределения значений $K_{k \text{ max}}/K_{k \text{ min}}$ среди элементов с $K_k < 1.50$ обладает

Таблица 1. Медианные значения K_k и содержаний (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых алюмосилико-кластических породах рифея Учуро-Майского региона.

Элемент	Свита					
	Трехгорная	Димская	Тальнская	Светлинская	Неруенская	Усть-кирбинская
Li	3.43 (72.04)	5.76 (121.02)	3.48 (73.09)	3.68 (77.25)	1.69 (35.40)	2.25 (47.33)
B	8.76 (148.95)	10.72 (182.17)	8.36 (142.16)	–	–	–
Sc	0.85 (12.12)	1.29 (18.03)	1.02 (14.34)	0.74 (10.32)	1.20 (16.78)	1.43 (20.01)
V	0.99 (118.61)	1.47 (142.72)	1.18 (114.20)	0.84 (81.67)	1.41 (136.37)	1.36 (132.03)
Cr	1.64 (137.31)	1.14 (104.64)	1.59 (146.73)	1.44 (132.50)	1.33 (122.23)	1.05 (96.91)
Co	0.27 (5.34)	0.81 (14.01)	1.01 (17.52)	1.03 (17.86)	0.77 (13.41)	1.13 (19.48)
Ni	1.29 (63.51)	0.88 (41.24)	1.17 (55.17)	1.27 (59.47)	0.81 (37.92)	1.14 (53.36)
Cu	0.64 (12.78)	0.45 (12.52)	0.68 (19.09)	0.81 (22.75)	0.39 (19.60)	0.92 (25.69)
Zn	0.71 (48.12)	0.69 (46.33)	3.95 (264.85)	4.88 (327.30)	0.75 (58.72)	1.35 (90.66)
Ga	1.34 (25.44)	1.97 (34.48)	1.38 (24.15)	1.15 (20.07)	1.83 (31.99)	1.56 (27.24)
Rb	1.83 (163.89)	1.50 (126.26)	1.71 (143.46)	1.23 (103.38)	0.87 (72.74)	1.71 (143.23)
Sr	0.14 (37.27)	0.14 (45.32)	0.07 (22.86)	0.05 (17.45)	0.13 (41.74)	0.09 (28.88)
Y	0.79 (16.70)	0.76 (16.00)	1.32 (27.77)	0.78 (16.28)	1.24 (26.09)	1.83 (38.49)
Zr	0.80 (156.43)	0.85 (164.64)	1.35 (260.61)	0.82 (158.59)	1.50 (289.03)	1.13 (217.36)
Nb	1.37 (17.15)	1.28 (15.36)	1.62 (19.43)	1.12 (13.41)	2.23 (26.73)	1.73 (20.80)
Mo	0.30 (0.30)	0.26 (0.29)	0.15 (0.17)	0.15 (0.69)	0.18 (0.67)	0.15 (0.40)
Cs	0.78 (4.05)	1.39 (6.79)	1.35 (6.64)	1.12 (5.49)	1.45 (7.12)	1.25 (6.11)
Ba	1.05 (664.83)	1.10 (684.69)	1.35 (845.31)	0.41 (253.54)	0.51 (318.23)	0.92 (574.73)
La	1.01 (38.70)	1.30 (40.40)	1.30 (40.32)	0.92 (28.43)	1.28 (39.74)	1.10 (34.01)
Ce	1.24 (63.91)	1.21 (76.21)	1.48 (93.53)	1.01 (63.86)	1.46 (92.02)	1.27 (80.20)
Pr	1.08 (6.57)	1.22 (8.65)	1.42 (10.08)	0.92 (6.51)	1.24 (8.82)	1.24 (8.80)
Nd	1.04 (23.58)	1.29 (34.71)	1.44 (38.88)	0.90 (24.18)	1.15 (31.06)	1.25 (33.77)
Sm	1.05 (3.94)	1.14 (5.38)	1.47 (6.93)	0.88 (4.12)	1.07 (5.04)	1.40 (6.57)
Eu	0.96 (0.73)	1.10 (1.10)	1.40 (1.40)	0.60 (0.60)	0.83 (0.83)	1.20 (1.20)
Gd	1.08 (3.21)	1.15 (4.62)	1.51 (6.03)	0.78 (3.12)	1.00 (4.02)	1.55 (6.19)
Tb	0.79 (0.39)	0.87 (0.61)	1.20 (0.84)	0.63 (0.44)	0.88 (0.61)	1.43 (1.00)
Dy	0.77 (2.11)	0.78 (3.05)	1.25 (4.87)	0.74 (2.89)	1.02 (3.99)	1.55 (6.04)
Ho	0.75 (0.63)	0.69 (0.58)	1.28 (1.06)	0.79 (0.65)	1.18 (0.98)	1.56 (1.30)
Er	0.70 (1.65)	0.77 (1.76)	1.27 (2.92)	0.81 (1.87)	1.27 (2.93)	1.65 (3.79)
Tm	0.79 (0.25)	0.89 (0.27)	1.42 (0.42)	0.94 (0.28)	1.60 (0.48)	1.97 (0.59)
Yb	0.76 (1.58)	0.85 (1.70)	1.40 (2.81)	0.95 (1.91)	1.66 (3.32)	1.95 (3.90)
Lu	0.73 (0.23)	0.94 (0.29)	1.40 (0.44)	0.93 (0.29)	1.66 (0.51)	1.89 (0.59)
Hf	0.81 (4.36)	0.77 (4.07)	1.33 (7.03)	0.82 (4.33)	1.52 (8.06)	1.13 (5.99)
Pb	0.92 (16.97)	0.30 (5.05)	0.19 (3.27)	0.87 (19.29)	0.26 (4.37)	0.37 (6.32)
Bi	1.01 (0.17)	2.46 (0.39)	2.07 (0.33)	1.17 (0.19)	1.53 (0.24)	0.84 (0.13)
Th	0.79 (10.45)	1.12 (11.78)	1.10 (11.58)	0.71 (7.46)	1.60 (16.75)	1.42 (14.87)
U	0.78 (2.29)	0.70 (1.90)	0.70 (1.89)	0.60 (1.63)	0.80 (2.15)	1.00 (2.70)
n	4	9	8	5	9	8

Примечание. В скобках приведены медианные содержания элементов-примесей. Прочерк – нет данных. Белый фон – $K_k < 1.5$, светло-серый – $1.5 < K_k < 2.5$, темно-серый – $2.5 < K_k < 5$, черный – $K_k > 5$. n – количество проанализированных образцов.

Th, однако и максимальная величина K_k для данного элемента составляет 0.83.

Для глинистых сланцев и аргиллитов неруенской свиты, так же как и для пород димского уровня, медианная величина K_k Ga несколько превышает 1.50. Это же свойственно Li, Nb, Tm, Yb, Lu, Hf, Bi и Th (рис. 4б). Максимальное значение K_k (~4.8) характерно для Bi. Распределение содержаний Bi в имеющейся в нашем распоряжении выборке из 9 образцов весьма неравномерное. Так, в трех из них величина K_k больше 3.00, в двух других она составляет 1.53 и

1.60. Еще три образца характеризуются значениями K_k от 0.61 до 0.99, а один – 0.27. Таким образом, величина N для Bi составляет 17.9. Максимальные же значения K_k превышают 1.50 для 31 из 35 элементов, определения содержаний которых мы располагаем для тонкозернистых пород неруенского уровня (табл. 1). Почти так же неравномерно, как Bi, распределены Li, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Mo, Ba, PЗЭ, Pb и Th. Обращает на себя внимание заметное превышение кларковых значений для тяжелых PЗЭ в ряде образцов. Так, максимальные значения K_k для Dy, Ho,

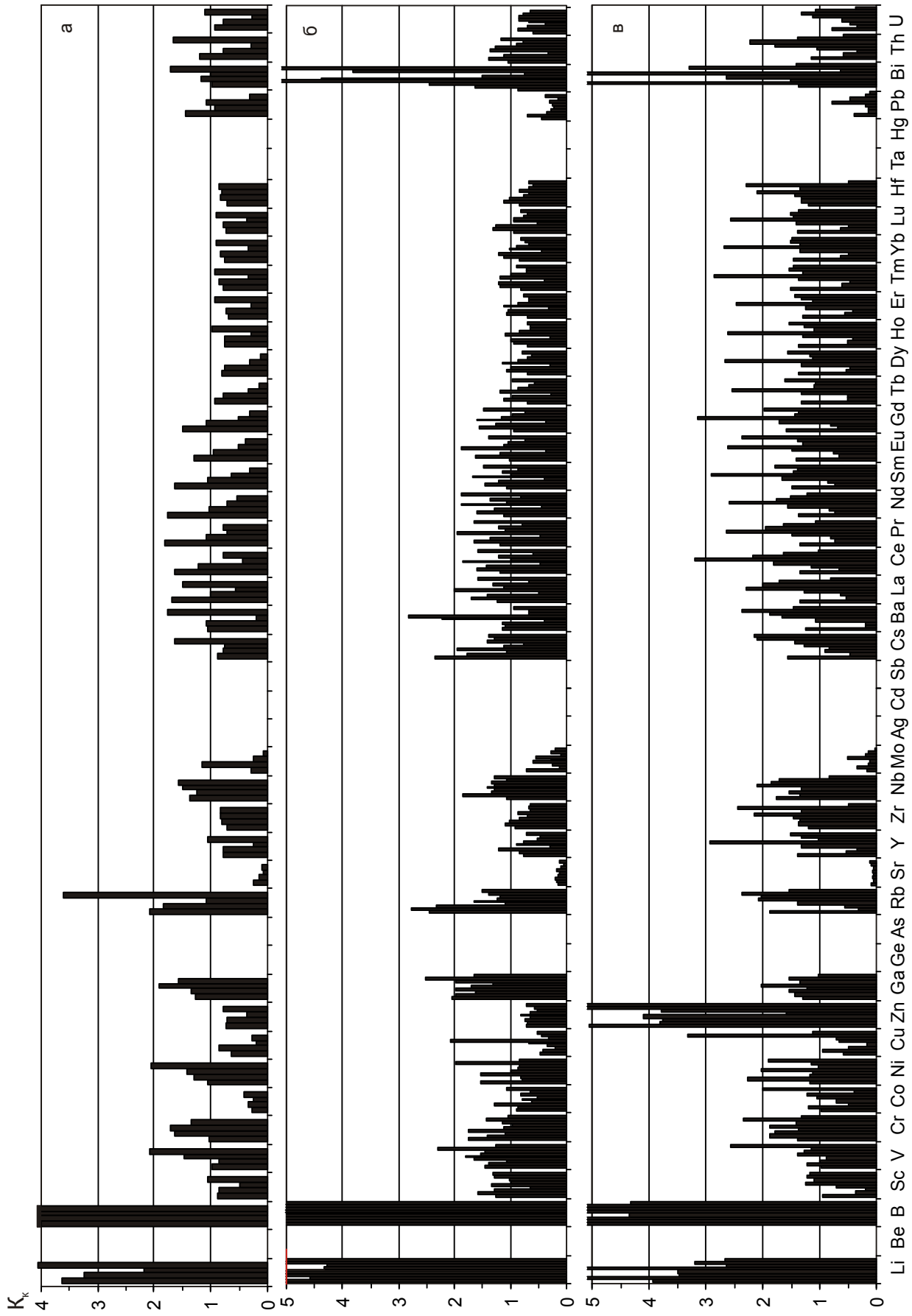


Рис. 3. Кларки концентрации элементов-примесей в частных пробах глинистых сланцев трехгорной (а), димской (б) и талынской (в) свит рифея Учуро-Майского региона (каждый столбик в ячейке элемента отвечает одному проанализированному образцу).

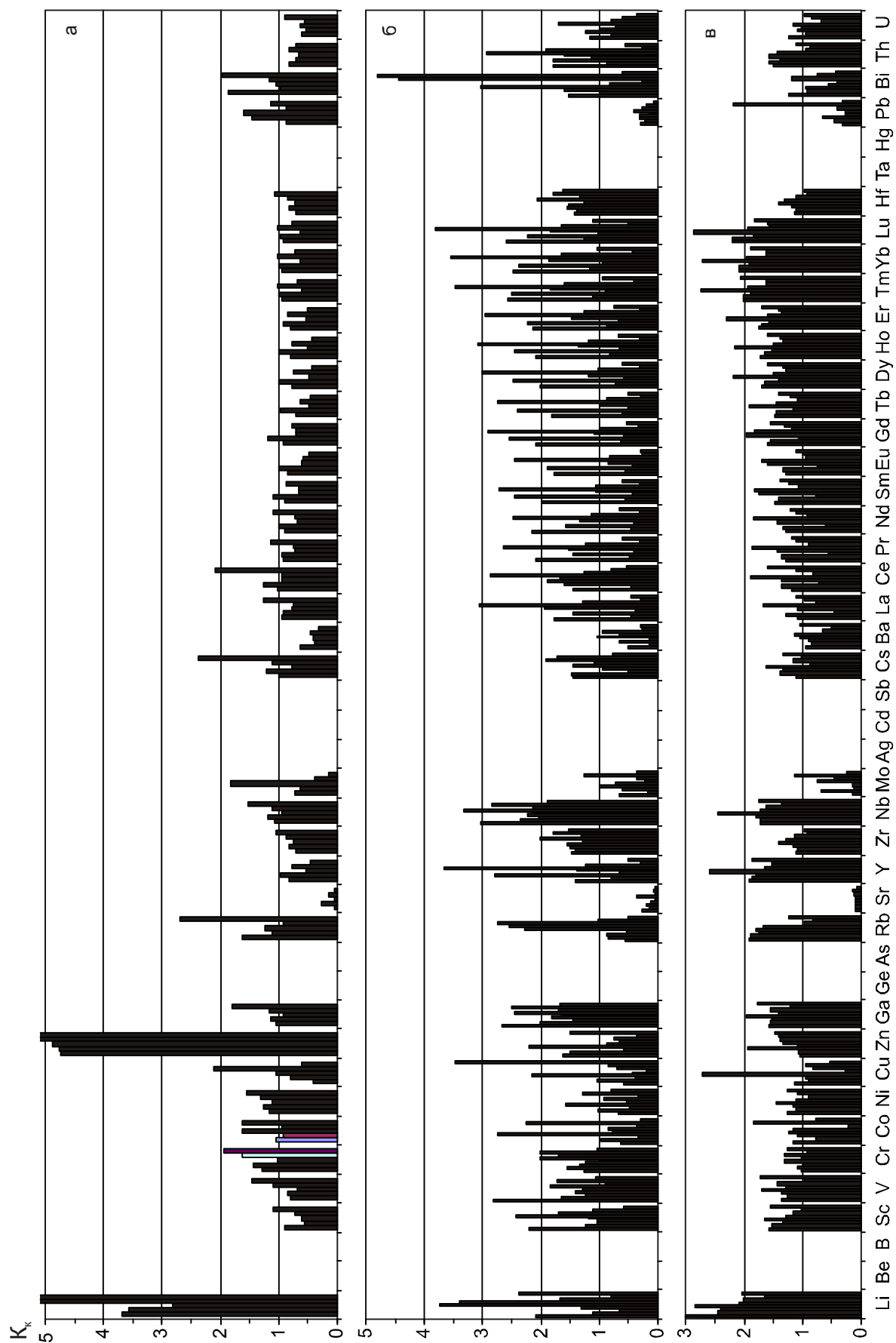


Рис. 4. Кларки концентрации элементов-примесей в частных пробах тонкозернистых терригенных пород светлинской (а), неруенской (б) и усть-кирбинской (в) свит рифея Учуро-Майского региона.

Tm, Yb и Lu превышают 3.00. Медианные значения K_k для Tm, Yb и Lu составляют, соответственно, 1.60, 1.66 и 1.66, что позволяет считать тонкозернистые терригенные породы нуруенской свиты слабо геохимически специализированными на названные элементы. Возможное объяснение этого – присутствие в породах циркона – основного концентратора ТРЗЭ. В отличие от тонкозернистых терригенных пород светлинской свиты медианное значение K_k для Th в глинистых сланцах и алевроаргиллитах нуруенской свиты составляет 1.60, а максимальное достигает почти 3.0 ($H = 10.5$). В то же время, медианная величина K_k для U, так же как и для всех рассмотренных выше литостратиграфических единиц гипостратотипа рифея, здесь меньше 1, а $H_U = 4.68$. Сопоставимые с характерными для димского и талынского уровней весьма низкие величины K_k (минимум – 0.07, максимум – $0.41 \times UCC$) присущи Pb, тогда как тонкозернистые обломочные породы трехгорной и светлинской свит имеют субкларковые медианные его содержания.

Тонкозернистые терригенные образования усть-кирбинской свиты характеризуются в подавляющем большинстве случаев субкларковыми содержаниями элементов-примесей (рис. 4в). Максимальная медианная величина K_k (2.25) характерна для Li. В четырех из восьми проанализированных образцов величина K_k для Sc составляет немногим более 1.50, в остальных она варьирует от 1.01 до 1.34. Кларк концентрации Ga в шести из восьми образцов выше 1.50. Пять из восьми образцов глинистых сланцев и аргиллитов усть-кирбинской свиты обладают слабой геохимической специализацией на Rb. Аналогичная специализация на Y, Tm, Yb и Lu свойственна семи образцам из восьми. Величины K_k для Sr и Mo составляют менее 0.20, соответственно, во всех восьми и в шести из восьми образцов. Столь же низкие значения K_k характерны для указанных элементов в подавляющем большинстве рассмотренных выше литостратиграфических подразделений рифея Учуро-Майского региона. Медианное значение K_k для Th равно 1.42. Этот же параметр для U составляет 1.00 (минимум 0.67, максимум 1.23). Таким образом, тонкозернистые терригенные породы усть-кирбинского уровня Учуро-Майского региона слабо геохимически специализированы на Li, Ga, Rb, Y, Nb, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu.

Рассмотрение общих особенностей изменения значений K_k в тонкозернистых терригенных породах гипостратотипа рифея (табл. 1) показывает, что для подавляющего числа элементов-примесей какие-либо существенные вариации K_k снизу вверх по раз-

резу не характерны. Исключение составляют Zn (максимальные величины K_k медиана характерны для талынского и светлинского уровней), Y, Zr, Nb, Th (величины K_k медиана растут вверх по разрезу). Что касается геохимической специализации тонкозернистых терригенных образований различных уровней гипостратотипа рифея, то, по нашим данным, умеренной и интенсивной специализацией на Li и В обладают породы трехгорной, димской и талынской свит. Для последней характерна также выраженная геохимическая специализация на Zn. Породы светлинской свиты умеренно геохимически специализированы на Li и Zn, тогда как для глинистых сланцев и аргиллитов нуруенской и усть-кирбинской свит умеренная и интенсивная специализация на какие-либо элементы-примеси из широкого спектра не характерны. Следует отметить некоторое увеличение концентраций ТРЗЭ в нуруенской и усть-кирбинской свитах, при общей тенденции обеднения тяжелыми лантаноидами глинистых отложений всех остальных свит Учуро-Майского региона. Это указывает на увеличение доли пород базитового состава в общем балансе породных комплексов питающей провинции.

Метапелиты кординской свиты *Енисейского края* – базального подразделения сухопитской серии, – исходя из присущих им медианных значений K_k , обладают слабой геохимической специализацией на Li, Ge, Rb, Nb, Cd, Ta, Hg и Th (табл. 2, рис. 5). Для В медианная величина K_k составляет 4.36, а для Cu – 3.27. Распределение минимальных и максимальных содержаний Li, V, Co, Cu, As, Sr, Mo, Sb, Cs, Ba, Hg, Pb и Bi в тонкозернистых породах рассматриваемого уровня весьма неравномерное ($H > 5$). Так величина H для Li, As, Hg составляет, соответственно, 11.6, 35 и 28. Максимальные значения K_k РЗЭ не превосходят 2.50. Все входящие в данную группу элементы имеют околоскларковые содержания. Семь из двенадцати образцов метапелитов рассматриваемого уровня имеют слабую специализацию на Th ($1.63 < K_k < 1.86$), в остальных величина K_k составляет от 0.70 до 1.36 ($H_{Th} = 2.64$). Низкими медианными величинами K_k характеризуются Co, Ni, Sr и Mo.

Выраженная геохимическая специализация на В сохраняется и в тонкозернистых породах потоскуйской свиты – базального подразделения тунгусикской серии (рис. 5). Кроме того, медианные значения K_k превышают 2.50 здесь для V, Sb, Hg и Bi, а для Hg K_k составляет более 5. Для Li, Be, Ga, Ge, Rb, Y, Nb, Cd, In, Ce, Sm, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta и Th медианные значения K_k варьируют в пределах 1.5–2.5, что позволяет рассматривать глинистые сланцы и аргиллиты потоскуйской свиты как слабо геохимически специа-

Таблица 2. Медианные значения K_k и содержаний (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых алюмосиликокластических породах базальных свит седиментационных серий рифея Енисейского кряжа.

Элемент	Свита		
	Кординская	Потоскуйская	Лопатинская
Li	2.47 (51.49)	2.36 (72.78)	4.20 (101.64)
Be	1.43 (3.66)	1.68 (3.54)	1.78 (3.74)
B	4.36 (67.57)	10.66 (181.29)	8.09 (137.50)
Sc	1.07 (15.06)	1.29 (18.02)	1.08 (15.08)
V	0.93 (90.07)	2.68 (260.33)	2.54 (246.45)
Cr	1.15 (112.00)	1.48 (136.07)	1.51 (138.96)
Co	0.68 (12.90)	0.59 (10.21)	0.93 (16.13)
Ni	0.48 (20.91)	0.61 (28.80)	1.30 (60.88)
Cu	3.27 (17.46)	0.96 (26.94)	1.80 (97.88)
Zn	1.19 (69.47)	1.06 (71.13)	0.73 (20.67)
Ga	1.41 (25.20)	1.68 (29.41)	1.64 (28.71)
Ge	1.89 (0.27)	1.50 (0.21)	1.30 (0.18)
As	1.01 (1.79)	–	2.50 (12.01)
Rb	1.54 (131.00)	1.53 (128.66)	1.70 (143.19)
Sr	0.46 (73.62)	0.14 (43.30)	0.45 (143.93)
Y	1.23 (27.72)	1.69 (35.51)	1.75 (36.81)
Zr	0.90 (185.73)	1.31 (251.98)	1.35 (260.23)
Nb	1.78 (21.35)	1.95 (23.37)	2.50 (30.02)
Mo	0.25 (0.26)	0.43 (0.47)	0.13 (0.15)
Ag	0.96 (0.29)	0.78 (0.41)	0.62 (0.33)
Cd	1.69 (0.15)	1.84 (0.17)	2.50 (0.23)
Sb	0.61 (0.18)	2.88 (1.15)	1.53 (0.61)
Cs	1.00 (4.94)	1.00 (4.92)	6.69 (32.76)
Ba	0.96 (643.00)	0.45 (280.57)	0.60 (374.17)
La	0.91 (27.95)	1.29 (40.11)	1.34 (41.48)
Ce	1.04 (63.79)	1.79 (112.65)	1.60 (100.64)
Pr	1.05 (7.18)	1.37 (9.74)	1.40 (9.95)
Nd	1.07 (29.20)	1.36 (36.60)	1.38 (37.38)
Sm	1.17 (5.93)	1.47 (6.93)	1.52 (7.14)
Eu	1.23 (1.28)	1.28 (1.28)	1.24 (1.24)
Gd	1.29 (5.55)	1.53 (6.10)	1.63 (6.51)
Tb	1.20 (0.85)	1.31 (0.92)	1.32 (0.92)
Dy	1.20 (4.81)	1.49 (5.82)	1.44 (5.63)
Ho	1.16 (1.00)	1.55 (1.28)	1.52 (1.26)
Er	1.16 (2.74)	1.57 (3.61)	1.53 (3.52)
Tm	1.34 (0.41)	1.87 (0.56)	1.80 (0.54)
Yb	1.37 (2.75)	1.88 (3.76)	1.70 (3.40)
Lu	1.31 (0.41)	1.76 (0.54)	1.66 (0.51)
Hf	0.92 (5.09)	1.29 (6.86)	1.33 (7.07)
Ta	1.60 (1.47)	1.72 (1.55)	2.19 (1.97)
Hg	1.95 (0.07)	33.60 (1.68)	14.60 (0.73)
Pb	0.88 (14.69)	0.72 (12.20)	0.83 (14.05)
Bi	1.32 (0.21)	2.64 (0.42)	1.56 (0.25)
Th	1.63 (17.13)	1.83 (19.18)	1.09 (11.47)
U	1.22 (3.28)	1.49 (4.01)	1.33 (3.59)
n	12	4	5

Примечание. В скобках приведены медианные значения содержаний того или иного элемента. Прочерк – нет данных. Белый фон – $K_k < 1.5$, светло-серый – $1.5 < K_k < 2.5$, темно-серый – $2.5 < K_k < 5$, черный – $K_k > 5$. n – число проанализированных образцов.

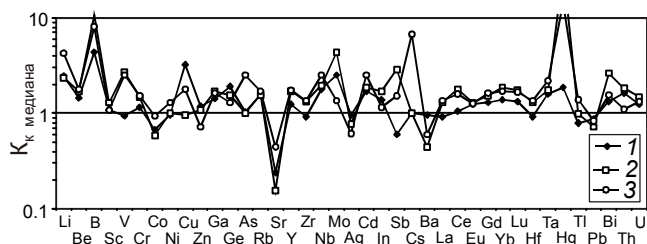


Рис. 5. Вариации медианных значений K_k элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах базальных свит ряда крупных седиментационных серий рифея Енисейского кряжа.

Свиты: 1 – кординская, 2 – потоскуйская, 3 – лопатинская.

лизированные на указанные элементы. Неравномерность распределения K_k для различных элементов примерно сопоставима с той, что наблюдается в сходных по гранулометрическому составу породах кординской свиты. Так, для Li, Co, Ni, Zn, Y, Mo, Ba и Hg значения параметра H составляют более 5. Для Cu, Rb, Sr, Cs, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu и Pb величина H варьирует от 3 до 5, тогда как для других элементов она составляет менее 3.

Тонкозернистые обломочные образования лопатинской свиты, так же как и породы двух других, рассмотренных выше свит, залегающих в основании крупных седиментационных серий рифея Енисейского кряжа, имеют во многих проанализированных нами образцах существенно повышенные относительно UCC содержания Hg ($K_{k \text{ медиана}} = 14.6$), Li ($K_{k \text{ медиана}} = 4.2$), B ($K_{k \text{ медиана}} = 8.09$), Cs ($K_{k \text{ медиана}} = 6.69$) (табл. 2, рис. 5). Кроме того, для данного уровня в четырех образцах из пяти величина K_k для V выше 1.5 (медианное значение K_k – 2.54), для Cu в четырех образцах выше 1.5, а в одном – выше 5. Таким образом, тонкозернистые терригенные породы лопатинской свиты слабо геохимически специализированы в отношении Cu ($K_{k \text{ медиана}} = 1.8$). Более высокие в целом содержания, чем для пород кординского и потоскуйского уровней, свойственны здесь также As, Rb, Y, Nb, Cd и Cs. Три из пяти образцов данного уровня слабо геохимически специализированы в отношении Th и U. Медианные значения K_k для Be, Cr, Ga, As, Rb, Y, Nb, Cd, Sb, Ce, Sm, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta и Bi варьируют от 1.51 до 2.5. Наиболее неравномерно ($H > 5$) в имеющейся у нас выборке распределены K_k Cu, Sr, Mo, In, Sb, Cs и Hg. Для Li, Be, V, Zn, Rb, Ba, La, Pr, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta и Bi значения H изменяются от 3.05 до 4.13.

Снизу вверх по разрезу рифея Енисейского кряжа в целом значения K_k в тонкозернистых породах для ряда элементов (Li, B, V, As, Ni, Cr, Cs, Nb,

Ga, Zr, Hf, Cd, Sb, Ta, Tl, Hg и др.) растут, а для других (Be, Co, Rb, In, значительная часть РЗЭ и Pb) остаются более или менее постоянными (табл. 2). Медианные величины K_k Zn, Mo и Ba вверх по разрезу постепенно или резко снижаются. Два верхних базальных уровня в сравнении с нижним – кординским – заметно обогащены ТРЗЭ. Для ряда элементов (Sc, V, In, Sb, Hg, Bi, Th, U) максимальные значения K_k медиана характерны для потоскуйского уровня.

Сопоставляя геохимическую специализацию базальных свит различных седиментационных серий рифея Енисейского кряжа, можно видеть, что метапелиты и глинистые сланцы кординской свиты слабо специализированы на Li, Ge, Rb, Nb, Cd, Ta, Hg и Th, имеют выраженную специализацию на В и Cu. Аналогичные по гранулометрическому составу породы потоскуйской свиты выражено специализированы на V, Sb и Bi и интенсивно специализированы на В и Hg. Для глинистых сланцев и аргиллитов лопатинской свиты присуща умеренная специализация на Li, интенсивная на В, Hg и Cs и слабая на весьма широкий спектр элементов – Be, U, Cr, Cu, Ga, As, Rb, Y, Nb, Cd, Sb, Ce, Sm, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ta и Bi.

Учитывая, что с востока на запад для Енисейского кряжа характерна выраженная субмеридиональная зональность, мы проанализировали геохимические особенности тонкозернистых терригенных пород кординской свиты отдельно для восточной (приплатформенной) и центральной зон. Медианные значения K_k для кординских метапелитов обеих зон приведены в табл. 3.

Сопоставление медианных значений K_k показывает, что метапелиты кординской свиты в центральной части Енисейского кряжа характеризуются заметно повышенными по сравнению с восточной зоной содержаниями Li, Be, Sc, V, Cr, Zn, Ga, As, Y, Zr, Nb, In, Hf, Ta, Hg, Bi и Th, будучи в той или иной мере обеднены Cu, Ge, Sr и Ag (рис. 6а). В метапелитах центральной зоны также несколько повышены содержания РЗЭ. Следует отметить и различия в распределении Eu в тонкозернистых терригенных породах этих двух зон. Так, для Центральной зоны типична отрицательная относительно UCC Eu аномалия, а для восточной – положительная (рис. 6б). Исходя из K_k медиана для Th, можно видеть, что породы кординской свиты центральной зоны слабо геохимически специализированы в отношении данного элемента; в метапелитах восточной зоны медианная величина K_k для Th составляет 0.92. В целом для метапелитов кординской свиты восточной зоны Енисейского кряжа характерна слабая геохимическая специ-

Таблица 3. Медианные значения K_k и содержания (г/т) элементов-примесей в тонкозернистых алюмосиликокластических породах кординской свиты сухопитской серии рифея различных зон Енисейского кряжа.

Элемент	Центральная зона	Восточная зона
Li	2.70 (60.04)	2.16 (37.00)
Be	1.82 (3.82)	0.77 (1.61)
Sc	1.19 (16.68)	0.81 (11.37)
V	1.32 (128.46)	0.69 (67.19)
Cr	1.28 (117.66)	0.86 (78.71)
Co	0.91 (15.78)	0.38 (6.65)
Ni	0.81 (38.00)	0.96 (45.00)
Cu	0.64 (20.59)	0.57 (16.00)
Zn	1.61 (108.10)	0.80 (54.00)
Ga	1.50 (26.27)	0.99 (17.26)
Ge	1.50 (1.98)	2.28 (3.68)
As	1.45 (8.02)	1.37 (6.60)
Rb	1.74 (146.32)	1.51 (126.79)
Sr	0.42 (131.62)	0.23 (74.00)
Y	1.66 (32.60)	1.07 (21.94)
Zr	1.24 (239.98)	0.68 (139.82)
Nb	1.95 (23.44)	1.33 (15.96)
Mo	0.26 (0.29)	0.20 (0.26)
Cd	1.69 (0.17)	1.55 (0.14)
Sb	0.88 (0.35)	0.45 (0.18)
Cs	1.03 (4.94)	0.98 (4.82)
Ba	1.08 (672.55)	0.89 (555.30)
La	1.53 (47.36)	0.89 (27.51)
Ce	1.53 (96.62)	0.84 (52.75)
Pr	1.56 (11.78)	0.94 (6.68)
Nd	1.62 (43.80)	0.80 (21.65)
Sm	1.68 (7.88)	0.88 (4.14)
Eu	1.41 (1.41)	1.17 (1.17)
Gd	1.69 (6.75)	0.87 (3.49)
Tb	1.39 (0.97)	0.82 (0.58)
Dy	1.53 (5.95)	0.89 (3.47)
Ho	1.49 (1.24)	0.85 (0.70)
Er	1.44 (3.31)	0.87 (2.00)
Tm	1.65 (0.49)	0.99 (0.30)
Yb	1.65 (3.31)	0.96 (1.92)
Lu	1.57 (0.49)	1.09 (0.34)
Hf	1.23 (6.52)	0.63 (3.36)
Ta	1.74 (1.57)	1.41 (1.27)
Hg	2.50 (0.17)	1.90 (0.07)
Pb	0.89 (15.16)	0.86 (14.69)
Bi	1.54 (0.25)	1.12 (0.18)
Th	1.78 (18.65)	0.92 (9.69)
U	1.16 (3.13)	1.25 (3.36)
n	7	5

Примечание. В скобках – медианные содержания того или иного элемента. Белый фон – $K_k < 1.5$, светло-серый – $1.5 < K_k < 2.5$, темно-серый – $2.5 < K_k < 5$. n – количество проанализированных образцов.

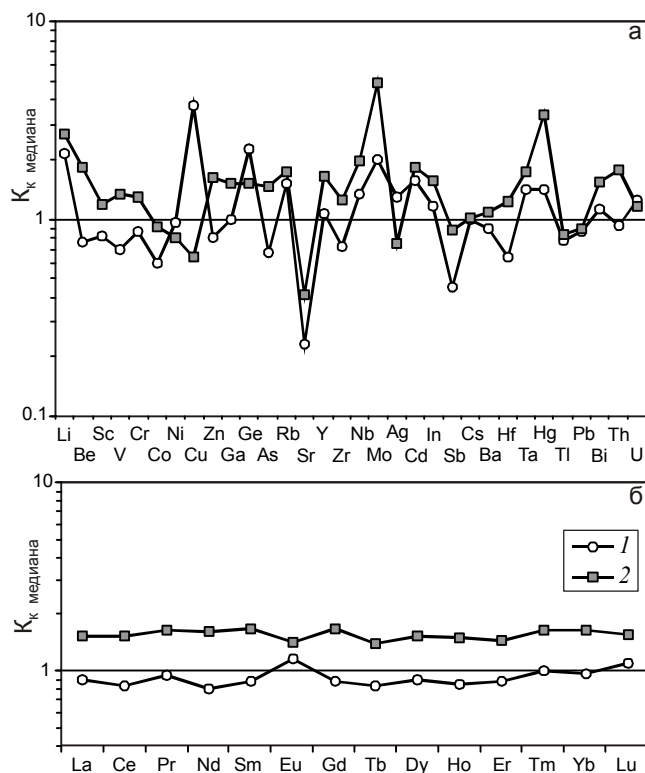


Рис. 6. Вариации медианных значений K_k элементов-примесей (а) и редкоземельных элементов (б) в метапелитах кординской свиты восточной (1) и центральной (2) зон Енисейского кряжа.

лизация на Rb, Ge и Cd и выраженная специализация на Cu. Для Li и As значения параметра H составляют более 5, для Co, Ni, Ga, Sb, Ba и Pb варьируют между 3.03 и 4.45, тогда как для других элементов неравномерность распределения K_k в имеющейся у нас выборке относительно невелика. Тонкозернистые терригенные образования кординской свиты центральной зоны Енисейского кряжа характеризуются слабой геохимической специализацией на значительно более широкий ряд элементов (Be, V, Zn, Ga, Rb, Y, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Tm, Yb, Lu, Ta, Hg, Bi и Th); в отношении Li они имеют выраженную специализацию (табл. 3). Для Sb, Cs, Pb и Bi характерна значительная неравномерность в распределении величин K_k внутри выборки.

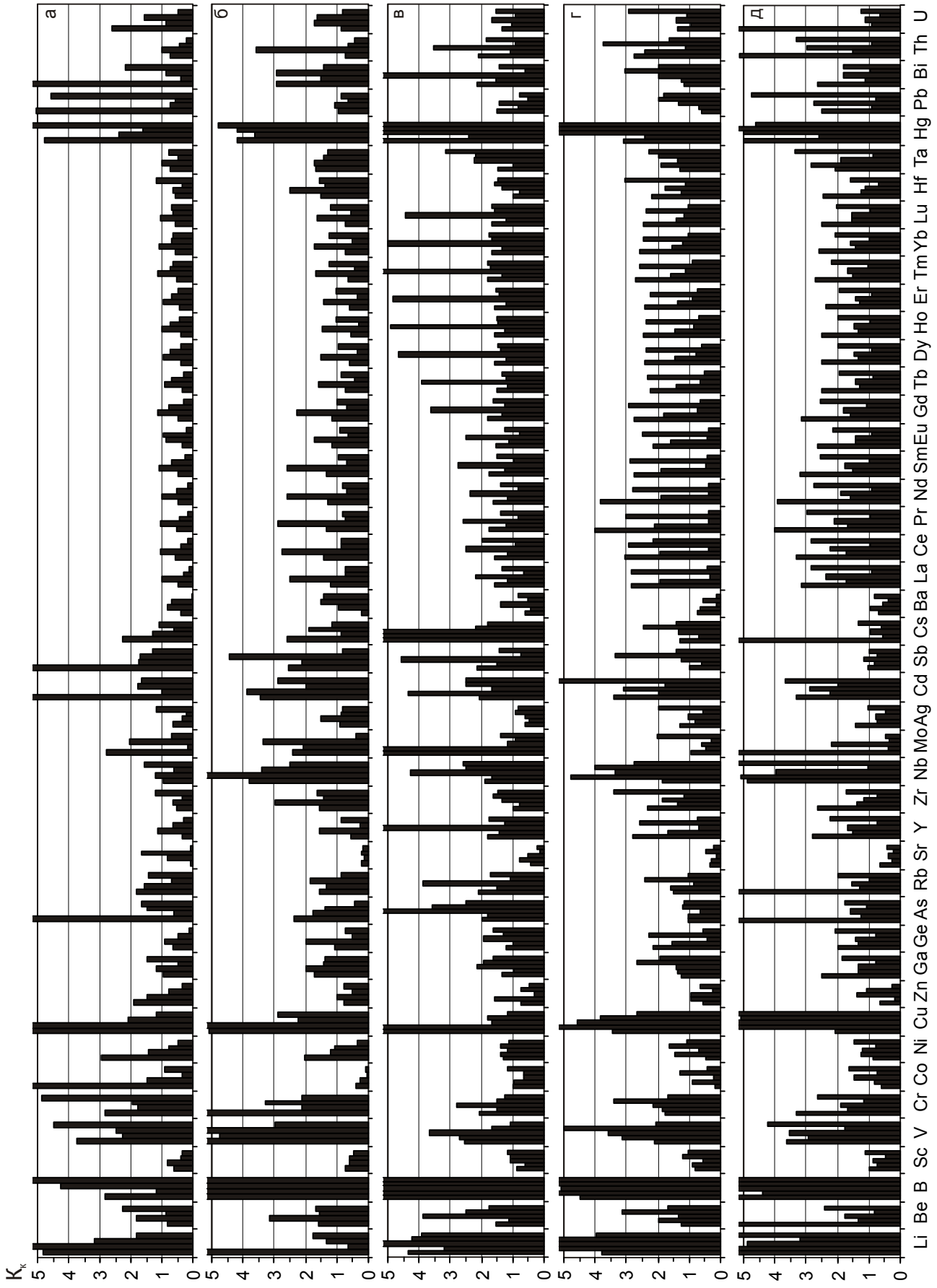
Для центральной зоны Енисейского кряжа существует также возможность сопоставить величины K_k широкого спектра элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах различных литостратиграфических подразделений верхней части верхнего рифея его южных (горевская и сухохребтинская свиты) и северных (лопатинская, карьерная и чивидинская свиты) районов.

Так, глинистые сланцы и аргиллиты горевской свиты имеют слабую геохимическую специализацию на As, Cd, Sb и Bi, тогда как на Li, B, V, Cr, Cu, Pb и Hg специализация этих пород выраженная (рис. 7а). В то же время, обращает на себя внимание тот факт, что K_k значительного числа элементов (Sc, Sr, Y, Zr, Ag, In, Ba, La, Ce, Pr и др.) составляют менее 1. Величина параметра H для 21 из 47 элементов составляет более 5, еще для 11 она варьирует от 3.17 до 4.65.

Для тонкозернистых терригенных пород сухохребтинской свиты наблюдается интенсивная геохимическая специализация на B и V, выраженная специализация на Cr, Cu, Nb, Cd и Hg, а также слабая специализация на Li, Be, Ga, As, Zr, Mo, Sb, Cs, Hf, Ta, Tl и Bi (рис. 7б). Для Li, V, Co, Ni, As, Y, Mo, Sb, Ba, Tl и Th значения параметра H превышают 5, для Ge и почти всех РЗЭ варьируют от 3.19 до 4.62.

Аналогичные по гранулометрическому составу породы лопатинской свиты, как уже отмечалось выше, обладают интенсивной геохимической специализацией на B, Cs и Hg, а также выраженно специализированы в отношении Li и V (рис. 7в). Глинистые сланцы и аргиллиты карьерной свиты имеют интенсивную геохимическую специализацию на Li, B и Hg. Медианные значения K_k для V, Cu, Nb и Cd для пород данного уровня попадают в интервал значений 3.11–3.82. Наблюдается также слабая специализация на легкие и ряд тяжелых РЗЭ, Hf, Ta, Bi и Th (рис. 7г). Наконец, тонкозернистые терригенные образования чивидинской свиты имеют интенсивную геохимическую специализацию на Li, B и Cu, умеренно специализированы на V, Nb, Cd, Hg и Th, а также обладают медианными значениями $1.50 < K_k < 2.50$ для As, Rb, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tm, Yb, Lu, Ta и Bi (рис. 7д). Наибольшей неравномерностью распределения значений K_k среди элементов широкого спектра характеризуются Li, Be, Cu, Zn, As, Rb, Nb, Mo, Cs, Tl, Pb, Th и U. Для Ga, Sr, Y, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Hf и Ta параметр H изменяется от 3.03 до 4.32.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что в целом тонкозернистые терригенные породы верхов верхнего рифея южной и северной частей центральной зоны Енисейского кряжа имеют достаточно сходную геохимическую специализацию, отличаясь лишь в деталях. Так, для глинистых сланцев и аргиллитов южной части наблюдается умеренная специализация на Cr, а для сходных по гранулометрическому составу образований северной части в ряде случаев – интенсивная специализация на Cs и умеренная на Th.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами исследования позволили выявить особенности распределения широкого спектра элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. Установлено, что не затронутые вторичными преобразованиями (кроме литогенеза погружения) глинистые сланцы и алевроаргиллиты трехгорной, димской, талынской и светлинской свит гипостратотипа рифея обладают умеренной ($2.5 < K_k < 5$) и интенсивной ($K_k > 5$) геохимической специализацией на Li, B и Zn, в то же время тонкозернистые терригенные образования неруенской и усть-кирбинской свит Учуро-Майского региона какой-либо выраженной специализации не имеют. Отложения талынской и усть-кирбинской свит характеризуются заметным обогащением тяжелыми редкоземельными элементами.

Анализ особенностей изменения с течением времени медианных значений K_k в глинистых сланцах и алевроаргиллитах гипостратотипа рифея показал, что для подавляющего числа элементов-примесей из исследованного нами широкого их спектра какие-либо заметные вариации K_k снизу вверх по разрезу не характерны. Однако для Y, Nb, Yb, Lu и Th медианные величины K_k так или иначе растут вверх по разрезу. Максимальные медианные значения K_k для Zn наблюдаются в тонкозернистых породах талынского и светлинского уровней.

Сопоставление геохимической специализации метапелитов, глинистых сланцев и аргиллитов базальных свит различных седиментационных серий рифея Енисейского кряжа показало, что для них характерны как общие, так и специфические черты. Тонкообломочные терригенные породы трех базальных уровней этого региона характеризуются выраженной или интенсивной геохимической специализацией на B. Они имеют повышенные, по сравнению с UCC, K_k или слабо геохимически специализированы на Li, Rb, Be, Nb, Ta, Th, Y, Ga, Ge, Cd и Bi. К тому же кординские и лопатинские метапелиты умеренно специализированы на Cu, потоскуйские – на Bi, V, Sb, Hg, лопатинские – на Hg и Cs.

Вверх по разрезу рифея Енисейского кряжа медианные величины K_k Zn и Ba постепенно или резко снижаются, тогда как содержания Li, B, As, Ni, Cr, Cs, Nb, Ga, Zr, Hf, Hg, Cd, Sb, Ta в той или иной мере

растут. Напротив, медианные значения K_k Be, Rb, части редкоземельных элементов и Pb на протяжении всего рассматриваемого нами интервала времени остаются примерно постоянными.

Проведенное нами с учетом продольной и поперечной зональности Енисейского кряжа сопоставление медианных значений K_k в тонкозернистых терригенных образованиях одного и того же возраста показало, что, например, метапелиты кординской свиты нижнего рифея центральной зоны кряжа характеризуются заметно повышенными по сравнению с метапелитами восточной зоны содержаниями значительного числа элементов (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, As, Rb, Y, Zr, Nb, Sb, Ag, In, Hf, Hg). Напротив, тонкозернистые обломочные породы верхней части верхнего рифея южной и северной частей центральной зоны Енисейского кряжа имеют достаточно сходную геохимическую специализацию, хотя алевроаргиллиты, ассоциирующие с глинистыми известняками горевской свиты, специализированы на целый ряд рудных элементов, в том числе на Pb, Cd, As, Sb и Bi.

Общей чертой всех исследованных нами объектов является значительная неравномерность в распределении K_k в частных пробах. Выше уже указывалось, что, например, для глинистых сланцев лопатинской свиты Енисейского кряжа параметр $H (K_{k \max} / K_{k \min})$ для 7 из 47 элементов составляет более 5, а еще для 18 варьирует между 3 и 5. В глинистых сланцах айской свиты Башкирского мегантиклинория 20 из 47 элементов обладают значениями $H > 5$, тогда как еще для 9 из них величина H составляет от 3 до 5. Однако есть и другие примеры. Так, в глинистых сланцах светлинской свиты Учуро-Майского региона только три элемента (Cu, Sr и Mo) имеют значения $H > 5$, еще два (Li и Cs) характеризуются величиной H , соответственно, 3.94 и 3.04.

Связаны ли указанные выше особенности распределения элементов-примесей в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа со стилем развития этих регионов и их отдельных зон в позднем докембрии, степенью зрелости дорифейской верхней континентальной коры и характером ее деструкции в рифее и венде, спецификой наложенных на литогенез погружения эпигенетических процессов или другими причинами, судить по приведенному материалу с существенной долей определенности пока трудно. Можно

Рис. 7. Кларки концентрации элементов-примесей в частных пробах тонкозернистых терригенных пород различных свит верхнего рифея Енисейского кряжа (южная часть кряжа: а – горевская, б – сухохребтинская; северная часть кряжа: в – лопатинская, г – карьерная, д – чивидинская).

только высказать предположение, что наблюдающаяся неравномерность в распределении величин K_k в глинистых сланцах и алевроаргиллитах значительной части проанализированных литостратиграфических подразделений Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа связана, по всей видимости, с недостаточно эффективным перемешиванием тонкой алюмосиликокластики на путях переноса и, следовательно, относительно близким положением источников сноса к конечным водоемам стока. Однако уже сейчас очевидно, что исследованные нами образования в значительном числе случаев имеют определенную геохимическую специфику, учет которой, безусловно, необходим при реконструкции источников поступления вещества в осадочные бассейны.

Для определения потенциальной рудоносности осадочных бассейнов позднего докембрия наряду с литологическими существенное значение имеют геохимические исследования, направленные на расшифровку состава и генезиса пород питающих провинций, путей транспортировки осадочного материала в конечные бассейны седиментации, особенностей обстановок накопления осадочных толщ, а также основных черт постседиментационных изменений отложений в различных типах породных бассейнов. Рассмотренный ранее ряд общих и специфических черт эволюции состава тонкозернистых терригенных пород, входящих в состав рифейских осадочных мегапоследовательностей Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа [35], показывает, что наиболее зрелым в геохимическом отношении сегментом континентальной коры в рифее являлась кора юго-западной окраины Сибирского кратона, откуда и происходил снос терригенного материала [34]. Это в значительной степени подтверждается приведенными выше геохимическими данными по тонкозернистым терригенным породам базальных свит седиментационных серий этого региона, которые в разной степени геохимически специализированы на достаточно широкий круг редких элементов. Примерно такая же ситуация характерна и для тонкозернистых терригенных пород базальных уровней рифея Южного Урала [21], сформированных за счет разрушения кристаллических комплексов цоколя Восточно-Европейской платформы. Тонкозернистые терригенные породы основания рифея Учуро-Майского региона, напротив, ближе по составу к незрелым субстратам позднего архея или их раннепротерозойским аналогам [21]. Метапелиты этого региона характеризуются небольшим спектром геохимически специализированных элементов. Области размыва для них

выступали в основном западные по отношению к Учуро-Майскому региону блоки Сибирской платформы. В формировании геохимического облика уянской серии, очевидно, существенную роль сыграли подстилающие раннепротерозойские вулканогенно-плутонические комплексы Улканского пояса, что подтверждается спецификой набора повышенных концентраций ряда элементов в тонкозернистых породах этой серии. Таким образом, очевидно, что важное значение в формировании геохимической специфики исследованных нами осадочных последовательностей имели локальные/провинциальные особенности пород источников сноса.

Повышенные K_k литофильных (щелочных, высокозарядных, радиоактивных, редкоземельных, других редких – Be, Y и Sc) элементов в тонкозернистых терригенных породах рифея Енисейского кряжа, несомненно, являются провинциальной особенностью этого осадочного бассейна, обусловленной высокой сиаличностью – геохимической дифференцированностью размывавшихся в рифее и венде раннедокембрийских блоков Сибирского кратона. Более высокое содержание ряда рудных халькофильных элементов (Cu, Zn, Ga, As, Ag, Cd, In, Hf, Te, Pb и Bi), а также Y, PЗЭ, Th, Zr и Nb в метапелитах Центральной зоны Енисейского кряжа, для которой известны проявления рифтогенного и внутриплитного базальтоидного и щелочного магматизма, может служить одним из важных геохимических аспектов металлогенической специализации породных комплексов этой зоны. Другой отличительной провинциальной особенностью тонкозернистых терригенных пород базальных уровней рифея является их резкая обедненность Sr, Mo и Ge, а также Be, Pb и Co.

Авторы искренне признательны О.П. Лепихиной, О.Ю. Поповой и Г.А. Лепихиной, выполнившим значительный объем химико-аналитических работ, а также В.А. Макрыгиной и А.К. Худолею, рецензии и доброжелательные критические замечания которых в немалой степени способствовали улучшению качества статьи.

Исследования выполнены* при финансовой поддержке интеграционного проекта УрО, СО и ДВО РАН “Реконструкции источников поступления вещества в осадочные бассейны Северной Евразии: обстановки седиментогенеза, потенциальная рудоносность” (09-С-5-1013) и частично проекта РФФИ № 08-05-00521.

*оригинальные таблицы данных химических анализов см. <http://itig.as.khb.ru/POG/index.htm>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 288 с.
2. Вейс А. Ф., Семихатов М.А. Нижнерифейская омахтинская ассоциация микрофоссилий Восточной Сибири: состав и условия формирования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 5. С. 36–54.
3. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 696 с.
4. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Ножкин А.Д., Пономарчук В.А. Рифейские офиолиты Исаковского пояса (Енисейский кряж) // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 7–8. С. 169–180.
5. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Черных А.М. и др. Порожнинские гранитоиды Приенсейского офиолитового пояса – индикаторы неопротерозойских событий на Енисейском кряже // Докл. РАН. 2001. Т. 381, № 6. С. 806–810.
6. Верниковский В.А., Верниковская А.Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 1. С. 35–52.
7. Геология и металлогения Енисейского рудного пояса / Отв. ред. Г.Н. Бровков, Л.В. Ли, М.Л. Шерман. Красноярск: СНИИГГиМС, 1985. 291 с.
8. Горошко М.В., Осипов А.Л., Кириллов В.Е., Соломатин Г.Б. Предпосылки выявления новых видов полезных ископаемых в юго-восточной части Алданского щита // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 2. С. 111–118.
9. Горошко М.В., Гурьянов В.А. Рудная минерализация зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и нижнерифейского платформенного чехла Учуро-Майской впадины (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 6. С. 93–110.
10. Гурьянов В.А., Карсаков Л.П., Горошко М.В., Осипов А.Л. Золотоносность докембрийских комплексов Учуро-Уянского района и его перспективы (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 5. С. 98–105.
11. Гурьянов В.А. Геология и особенности металлогении Улканского вулканогенного прогиба (юго-восток Сибирской платформы): Автореф. дис ... канд. геол.-минер. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. 25 с.
12. Гурьянов В.А. Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит). Владивосток: Дальнаука, 2007. 227 с.
13. Дистанов Э.Г., Пономарев В.Г. О геолого-генетических особенностях Горевского свинцово-цинкового месторождения // Геология и геофизика. 1980. № 12. С. 27–36.
14. Карсаков Л.П., Гурьянов В.А., Горошко М.В. Стратиграфия нижних горизонтов Сибирского гипостратотипа рифея (юго-восток Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10, № 1. С. 47–61.
15. Козлов П.С., Лепезин Г.Г. Петрология, петрохимия и метаморфизм пород Заангарья Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 5. С. 3–22.
16. Кренделев Ф.П. Кларки радиоактивных элементов в породах докембрия Енисейского кряжа. М.: Наука, 1971. 373 с.
17. Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации 1:200000 (2-е изд.) / Отв. ред. Л.К. Качевский. Красноярск, 1998. 197 с.
18. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полез. ископаемые. 2004. № 4. С. 414–441.
19. Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н. и др. Состав питающих провинций и особенности геологической истории поздневендского Мезенского бассейна // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 3. С. 290–312.
20. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.
21. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н. и др. Геохимические особенности тонкозернистых терригенных пород рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: оценка зрелости дорифейской континентальной коры и ее эволюции в интервале 1.65-0.6 млрд. лет // Геохимия. 2009. № 7. С. 734–756.
22. Миронов А.Г., Ножкин А.Д. Золото и радиоактивные элементы в рифейских вулканогенных породах и продуктах их метаморфизма (Енисейский кряж). Новосибирск: Наука, 1978. 278 с.
23. Ножкин А.Д., Кренделев Ф.П., Миронов А.Г. Радиоактивные элементы в докембрии Енисейского кряжа // Радиоактивные элементы в горных породах. Новосибирск: Наука, 1975. С. 183–189.
24. Ножкин А.Д., Гавриленко В.А. Золото и радиоактивные элементы в полифациальных отложениях верхнего рифея и венда северной части Енисейского кряжа. Новосибирск: Наука, 1976. 198 с.
25. Ножкин А.Д. Петрогеохимическая типизация докембрийских комплексов юга Сибири: Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1997. 98 с.
26. Ножкин А.Д. Радиоактивные элементы в эволюции земной коры юго-западной части Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1997. № 7. С. 1180–1189.
27. Ножкин А.Д. Золото в породах докембрия Енисейского кряжа // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири / Материалы конф., посвящ. 70-летию открытия кафедры геологии и разведки месторождений в ТПИ, 100-летию геологического образования в Сибири. Томск: ТПУ, 2000. С. 69–75.
28. Ножкин А.Д., Постников А.А. Рифтогенные вулканогенно-осадочные комплексы неопротерозоя юго-западной окраины Сибирского кратона: отражение ранних стадий раскрытия и эволюции Палеоазатского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. С. 65–68.
29. Ножкин А.Д., Миронов А.Г., Комарницкий Г.М. Типы урановой и золото-урановой минерализации в терригенных и вулканогенно-терригенных образованиях докембрия Енисейского кряжа // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и

- экзогенных процессах. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. С. 21–24.
30. Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е. и др. Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях формирования // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 12. С. 1307–1320.
 31. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Советов Ю.К., Травин А.В. Вендское аккреционно-коллизийное событие на юго-западной окраине Сибирского кратона // Докл. РАН. 2007. Т. 415, № 6. С. 782–787.
 32. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б. и др. Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор распада Родинии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 666–688.
 33. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Дмитриева Н.В. Формирование и эволюция докембрийской континентальной коры юго-западной части Сибирского кратона // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. М.: ГЕОС, 2008. Т. 2. С. 62–66.
 34. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Маслов А.В. и др. Sm-Nd изотопная систематика метапелитов докембрия Енисейского кряжа и вариации возраста источников сноса // Докл. РАН. 2008. Т. 429, № 6. С. 795–800.
 35. Ножкин А.Д., Маслов А.В., Подковыров В.Н. и др. Геохимические особенности терригенных пород рифея Южного Урала и Сибири и вариации зрелости континентальной коры // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 2. С. 95–114.
 36. Обновленные схемы межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа / Отв. ред. В.Л. Хомичев. Новосибирск: СНИИГиМС, 2007. 280 с.
 37. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
 38. Подковыров В.Н. Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемотратиграфия, геодинамические обстановки формирования): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. СПб.: ИГГД РАН, 2001. 37 с.
 39. Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. Модели палеотектоники бассейнов сибирского типа рифея (Учуро-Майский регион): геохимические и Nd изотопные свидетельства по глинистым породам // Суперконтиненты в геологическом развитии докембрия. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2001. С. 189–192.
 40. Подковыров В.Н., Котова Л.Н., Ковач В.П., Загорная Н.Ю. Модельные Sm-Nd возраста источников терригенных осадков и геодинамика бассейнов сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион) // Изотопная геохронология в решении задач геодинамики и рудогенеза. СПб.: ИГГД РАН, 2003. С. 362–365.
 41. Постельников Е.С. Верхнепротерозойские структуры и формации восточного склона Енисейского кряжа // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65, Вып. 1. С. 14–31.
 42. Радиогеохимические исследования. Методические рекомендации / Отв. ред. А.А. Смыслов. М.: Мингео СССР, 1974. 140 с.
 43. Семихатов М.А. Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 241 с.
 44. Семихатов М.А., Серебряков С.Н. Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука, 1983. 224 с.
 45. Советов Ю.К. Позднерифейский рифтогенез и байкальский цикл геодинамического развития Сибирской платформы // Рифей Северной Евразии. Геология, общие проблемы стратиграфии. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 223–230.
 46. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 47. Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья / Отв. ред. А.И. Забияка. Красноярск: КНИИГиМС, 2004. 321 с.
 48. Хабаров Е.М. Формации и эволюция рифейской седиментации восточных зон Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 10. С. 44–54.
 49. Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П. и др. Вариации уровня моря и изотопного состава карбонатного углерода в рифейском бассейне западной окраины Сибирского кратона (Байкитская антеклиз) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43, № 3. С. 211–239.
 50. Хабаров Е.М. Стратиграфия рифея. Район Енисейского кряжа // Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Изд-во "Гео", 2005. С. 39–61.
 51. Хоментовский В.В., Шенфиль В.Я., Якшин М.С. Рифей Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1985. № 7. С. 25–33.
 52. Хоментовский В.В. Верхний рифей Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 9. С. 921–933.
 53. Худoley А.К. Тектоника пассивных окраин древних континентов (на примере восточной окраины Сибирской и западной окраины Североамериканской платформ): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: ГИН РАН, 2003. 35 с.
 54. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
 55. Юдин Н.И. Литология железорудных месторождений Ангара-Питского бассейна. М.: Наука, 1968. 152 с.
 56. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.
 57. Condie K.C. Plate tectonics and crustal evolution. 4th ed. Butterworth Heinemann. Oxford, 1997. 282 p.
 58. Hassan S., Ishiga H., Roser B.P. et al. Geochemistry of Permian-Triassic shales in the Salt range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana margin // Chem. Geol. 1999. V. 158. P. 293–314.
 59. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
 60. Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A. et al. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia // Prec. Res. 2001. V. 111. P. 129–163.
 61. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea // Sed. Geol. 2002. V. 149. P. 219–235.
 62. McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Lipin B.R.,

- McKay G.A. (Eds) // Reviews in Mineralogy. 1989. V. 21. P. 169–200.
63. Rainbird R.H., Stern R.A., Khudoley A.K. et al. U-Pb geochronology of Riphean sandstone and gabbro from southeast Siberia and its bearing on the Laurentia-Siberia connection // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 164. P. 409–420.
64. Rudnik R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. 2003. V. 3. P. 1–64.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

A.V. Maslov, A.D. Nozhkin, V.N. Podkovyrov, E.F. Letnikova, N.V. Dmitrieva, Yu.L. Ronkin

Trace elements abundance ratios of Riphean fine-grained terrigenous rocks of the Uchur-Maya region and Yenisei ridge

Abundance ratios (K_k) of a wide range of trace elements (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Cs, Ba, REE, Hf, Ta, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, and U) of fine-grained terrigenous rocks (argillites, metapelites) of the Riphean reference sections of the Uchur-Maya region and Yenisei ridge are examined. It is established that clay shales and argillites of the Uchur and the Aimchan Group of the Riphean hypostratotype are moderately ($2.5 < K_k < 5$) and intensively ($K_k > 5$) Li-, B- and Zn-specialized, whereas analogous assemblages of the Lakhanda and the Ui Group display no distinct geochemical specialization, though being markedly enriched in HREE. Metapelites of basal formations of the Yenisei ridge Riphean sedimentation groups are distinctly and intensively B-specialized, and weakly Li-, Rb-, Be-, Nb-, Ta-, Th-, Ge-, and Cd-specialized. Besides, metapelites of the Lopatino and the Kordinsky Formation are moderately Cu-specialized; of Potoskui Formation, Bi-, Sb-, Hg- and V-specialized; and of Lopatino Formation, Hg- and Cs-specialized. Metapelites of the Kordinsky Formation (Lower Riphean, central zone of the Yenisei ridge) as compared with metapelites of the eastern, near-platform zone are geochemically specialized in a much greater number of elements (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, As, Rb, Y, Zr, Nb, Sb, Ag, In, Hf, Hg, etc.), and argillites of the ore-bearing (Pb, Zn) Gorevsky Formation are distinguished by elevated concentrations of a number of ore elements (Pb, Cd, As, Sb, and Bi). Increased K_k of rare lithophile and some ore elements in the metapelites of the Yenisei ridge is conditioned by a high sialic content – geochemical differentiation of the Early Precambrian blocks of the Siberian craton's western margin, which were washed out in the Riphean, and riftogenic and intraplate magmatism synchronous with sedimentation. On the contrary, the fine-grained and terrigenous rocks of the Riphean lower strata of the Uchur-Maya region are compositionally close to immature substratums of the Late Archean or their Early Proterozoic analogs.

Key words: abundance ratios, fine-grained terrigenous rocks, Riphean, Uchur-Maya region, Yenisei ridge.